

Annexe VI

Objectifs de formation et programme de sciences industrielles de l'ingénieur de la classe préparatoire scientifique d'ATS génie civil

1. Objectifs de formation

1.1. Finalité

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de la classe préparatoire ATS Génie Civil (GC) s'inscrit dans un parcours de formation initiale pour accéder au titre d'ingénieur. L'objectif de ce programme est de proposer des contenus d'enseignements qui permettent de développer progressivement les compétences nécessaires à l'intégration dans une grande école et à l'exercice des métiers d'ingénieurs. Ce programme est ambitieux quant au développement de compétences scientifiques et technologiques qui soutiennent l'expertise du futur ingénieur. Il l'est aussi pour le développement de compétences transversales nécessaires pour communiquer, travailler en équipe, exercer un sens critique et des responsabilités de manière éthique et déontologique. En cohérence avec les objectifs du cycle initial de la formation aux métiers de l'ingénierie, ce programme contribue à l'approche pédagogique par les STIM (Science, technologie, ingénierie et mathématiques).

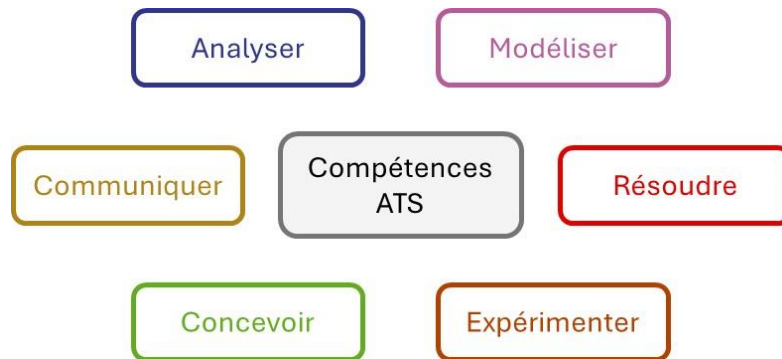
1.2. Objectifs généraux

Les ingénieurs doivent être en capacité de résoudre de façon innovante des problèmes inédits afin de répondre aux besoins des personnes et d'apporter un progrès dans leur qualité de vie. Ils participent aux processus de développement des ouvrages à chaque étape de leur cycle de vie, de la caractérisation du besoin jusqu'au recyclage, en respectant les enjeux de développement durable et d'écoconception.

Cette capacité des ingénieurs à proposer des solutions innovantes est plus que jamais indispensable au développement d'une industrie capable de faire face aux grands enjeux sociétaux, économiques et environnementaux. Ces enjeux sont notamment ceux de la transition énergétique, la préservation de la qualité de l'environnement, la progression des technologies du numérique (BIM, intelligence artificielle, etc.), la mutation des métropoles et des territoires. Dans un contexte de concurrence mondialisée, la capacité d'innovation des ingénieurs est nécessaire à l'industrie de notre pays qui doit demeurer compétitive et souveraine.

Les objectifs généraux du programme de SII en CPGE ATS GC visent à développer les compétences clés dans le large domaine des sciences industrielles de l'ingénieur qui sont nécessaires à l'exercice du métier d'ingénieur. Celles-ci sont consolidées et complétées par la formation poursuivie jusqu'à l'obtention du titre d'ingénieur.

L'enseignement de sciences industrielles de l'ingénieur en CPGE ATS GC a également pour objectif d'apporter aux étudiants des méthodes et des outils qui leur permettront de s'adapter aux évolutions permanentes des sciences et des technologies et de communiquer avec l'ensemble des acteurs associés à l'exercice des métiers d'ingénieurs et scientifiques.

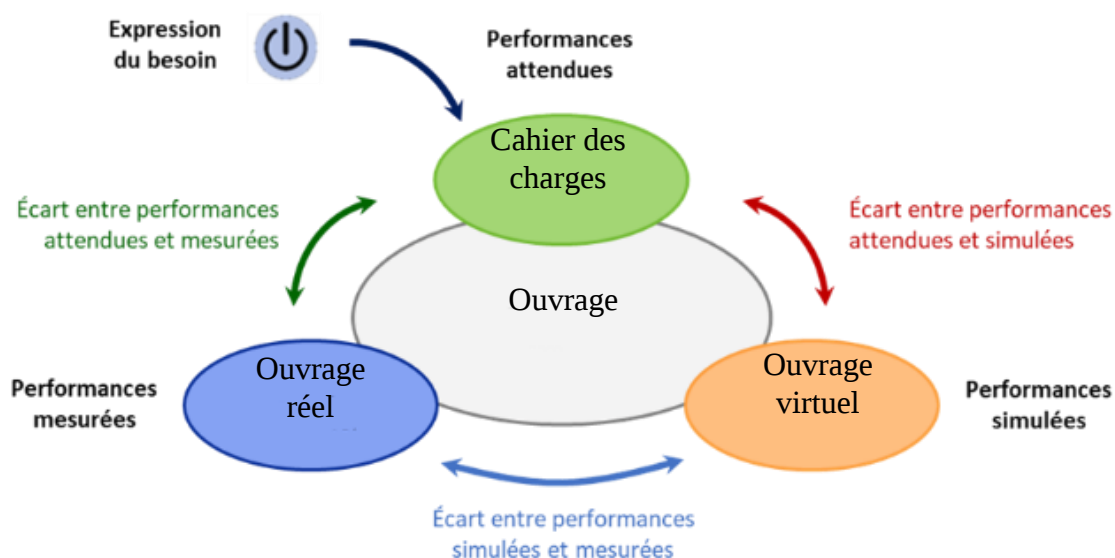


Les compétences générales de l'ingénieur développées en ATS

1.3. La démarche des enseignements en CPGE ATS

L'approche pédagogique et didactique des enseignements en ATS s'organise autour d'ouvrages variés. Un élément d'un ouvrage sera étudié à partir de ces trois approches imbriquées :

- la réalité du besoin du maître d'ouvrage qui se décline dans le cahier des charges et dans le respect des normes en vigueur ;
- la réalité virtuelle de l'élément d'ouvrage. Elle se traduit dans l'élaboration d'un modèle permettant de simuler son comportement afin d'en prévoir et d'en évaluer les performances ;
- la réalité matérielle de l'élément d'ouvrage. Elle se traduit par la réalisation d'expérimentations permettant de mesurer les performances réelles transposables sur l'ouvrage.



La démarche pédagogique et didactique en sciences industrielles de l'ingénieur

La démarche en SII en ATS GC vise à :

- contribuer à l'élaboration des trois réalités de l'ouvrage (le cahier des charges, l'ouvrage virtuel et l'ouvrage matériel) ;
- comparer les performances issues de ces trois réalités ;
- optimiser l'ouvrage virtuel et la conception de l'ouvrage matériel afin de faire converger leurs performances vers celles attendues au cahier des charges.

Les contenus du programme de la CPGE ATS permettent aux étudiants d'investir complètement la démarche de l'ingénieur en s'intéressant à toutes les représentations des ouvrages. Pour cela les enseignements en ATS installent progressivement l'ensemble des connaissances et des compétences nécessaires à la maîtrise des différentes représentations d'un même ouvrage, à la comparaison des différentes performances, à l'optimisation des ouvrages dans leurs réalités numérique et matérielle, afin de répondre aux attentes du maître d'ouvrage.

1.4. Usage de la liberté pédagogique

Le programme définit les obligations faites aux professeurs des contenus à enseigner, les mêmes pour tous les étudiants, garantes de l'équité d'une formation offrant à chacun les mêmes chances de réussite. Les finalités et objectifs généraux de la formation en SII laissent aux enseignants le choix pédagogique de l'organisation des enseignements et de ses méthodes. La nature des enseignements en SII suppose la mise en œuvre d'une didactique naturellement liée à la discipline qui impose une réflexion sur le développement des compétences, la transmission des connaissances et leur ordonnancement dans la programmation des apprentissages.

La pédagogie mise en œuvre valorise et s'appuie sur la mise en application concrète de connaissances scientifiques et technologiques sur des supports d'enseignement représentatifs de solutions innovantes. Les solutions contemporaines sont mises en perspective avec l'histoire des sociétés, des technologies, avec les préoccupations de respect de l'environnement et des ressources naturelles, de façon à construire les bases d'une culture d'ingénieur éthique et responsable.

1.5. Organisation de l'enseignement

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur de l'ATS GC doit être centré sur les activités de modélisation, de travaux pratiques à partir des bancs d'essais présents dans le laboratoire. Les travaux pratiques sont organisés par groupe de quinze étudiants au maximum dans le laboratoire de sciences industrielles de l'ingénieur.

L'ensemble de ces activités doit renforcer les acquis scientifiques et technologiques, l'autonomie des étudiants, les facultés de prise de décisions. L'objectif de la formation consiste à réduire les différences de maîtrise des compétences dues à l'hétérogénéité des formations d'origines des étudiants ; la pédagogie différenciée est à privilégier.

2. Programme

Le programme est organisé en six compétences générales déclinées en compétences attendues qui pourront être évaluées en fin de formation.

Partant de ces indications de fin de formation, le programme détaille les compétences développées, précise les connaissances associées et fournit un indicateur de positionnement temporel dans le cycle.

Les compétences développées et les connaissances associées sont positionnées dans les semestres, cela signifie :

- qu’elles doivent être acquises en fin du semestre précisé ;
- qu’elles ont pu être introduites au cours du semestre précédent ;
- qu’elles peuvent être mobilisées au semestre suivant.

Les compétences générales et compétences attendues sont détaillées ci-dessous.

A – Analyser

- A1 – Analyser les caractéristiques des principaux matériaux de construction vis à vis de leurs usages
- A2 – Analyser le comportement des matériaux
- A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle d'un ouvrage
- A4 – Analyser le confort dans un bâtiment
- A5 – Analyser les écarts

B – Modéliser

- B1 – Prendre en compte l'environnement et l'usage de l'ouvrage
- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement des sols
- B3 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement thermique
- B4 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement mécanique
- B5 – Valider un modèle

C – Résoudre

- C1 – Déterminer des contraintes et des déformations dans un milieu continu
- C2 – Déterminer la répartition des contraintes dans le sol
- C3 – Déterminer le tassement et la stabilité des ouvrages géotechniques
- C4 – Déterminer les performances liées au confort hygrothermique et acoustique
- C5 – Déterminer le comportement mécanique des structures
- C6 – Mobiliser des outils numériques

D – Expérimenter

- D1 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

E – Concevoir

- E1 – Proposer et choisir des solutions techniques

F – Communiquer

- F1 – Traiter des informations
- F2 – Échanger de l'information

Les liens avec l'enseignement d'informatique du tronc commun sont identifiés par le symbole $\Leftrightarrow I$.

A – Analyser

A1 – Analyser les caractéristiques des principaux matériaux de construction vis à vis de leurs usages

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Associer les principaux matériaux et leurs utilisations.	Matériaux structurels, matériaux isolants, matériaux de l'enveloppe du bâtiment.	S2
Classer les matériaux d'après leur origine.	Naturel/industriel, ressources, procédés d'extraction/fabrication.	
Comparer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des matériaux de construction.	Masse volumique, propriétés thermiques, propriétés acoustiques, durabilité. Résistance, fragilité/ductilité, relaxation/fluage, élasticité/plasticité. Module de Young.	
Évaluer l'impact environnemental et sociétal des matériaux de construction.	Fiches FDES. Coût. Matériaux bio-sourcés et recyclés.	
<i>Commentaires</i> <i>Concernant les caractéristiques mécaniques des matériaux, on se limite à l'étude de matériaux de construction usuels (bois, acier, béton).</i> <i>Concernant les fiches FDES on se limite aux indicateurs de bilan carbone et d'énergie grise.</i>		

A2 – Analyser le comportement des matériaux

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier les principaux comportements des solides.	Concept de milieu continu, lois de comportement des solides : loi de Hooke en uniaxial, courbe contrainte/déformation, notion de plasticité.	S1
Classer les principaux matériaux constructifs d'après leurs propriétés thermiques et acoustiques.	Conductivité thermique, capacité thermique, perméabilité à la vapeur d'eau. Notion d'inertie thermique. Absorption, réflexion, transmission acoustique.	S2
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à une approche qualitative du comportement plastique.</i>		

A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle d'un ouvrage

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Expliquer la fonction de tout ou partie des éléments d'une construction.	Notions de fondation, structure, enveloppe du bâtiment. Fonction des constituants d'une paroi (thermique, acoustique, mécanique, clos couvert).	S2
Extraire et interpréter les informations d'un document technique.	Plan (orientation, échelle, interprétation des symboles usuels). Cahier des charges. Notice technique.	
<i>Commentaire</i> <i>Les documents techniques peuvent être issus d'une extraction d'une maquette numérique du bâtiment (BIM).</i>		
Classer tout ou partie d'une structure selon son degré d'hyperstaticité.	Degré d'hyperstaticité interne, externe et global.	S1

Identifier les éléments assurant la stabilité globale d'une structure.	Cheminement des efforts. Porteurs verticaux / horizontaux. Contreventement.	
Identifier le type de liaison mécanique avec l'extérieur.	Degrés de liberté (translations, rotations).	
Identifier la nature et le mode d'application d'une action mécanique.	Actions de contact / à distance. Application ponctuelle, linéique, surfacique d'une action mécanique.	
Lister et classer les actions mécaniques appliquées à une structure.	Charges permanentes (G), d'exploitation (Q) et climatiques (W et S). Combinaisons d'actions.	
<i>Commentaire</i> <i>On se limite aux états limites ELU (combinaison fondamentale) et ELS (combinaison caractéristique).</i>		

A4 – Analyser le confort dans un bâtiment

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Décrire les choix techniques et architecturaux pour satisfaire les besoins en confort dans les bâtiments.	Orientation. Bioclimatisme. Compacité. Choix et dispositions des matériaux (isolations thermiques extérieure et intérieure). Inertie thermique, apports passifs. Economies d'énergie. Confort acoustique.	S2
Identifier le phénomène de pont thermique.	Pont thermique ponctuel et linéique.	
<i>Commentaire</i> <i>On se limite au confort thermique en hiver.</i>		

A5 – Analyser les écarts

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus analytiquement, expérimentalement et/ou numériquement	Unités. Ordre de grandeur. Homogénéité des résultats.	S1
Analyser les résultats de la mesure d'une grandeur.	Notions sur les erreurs et incertitudes.	S2
Analyser les écarts entre les valeurs théoriques, les résultats de simulation et les mesures.		

B – Modéliser

B1 – Prendre en compte l'environnement et l'usage de l'ouvrage

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Évaluer les charges liées à la destination et la localisation de l'ouvrage.	Charges permanentes, d'exploitation et climatiques.	S1
Évaluer les besoins liés au confort selon la destination de l'ouvrage.	Critères de confort acoustique (correction acoustique) et thermique (température et hygrométrie).	S2

<i>Commentaire</i> <i>On ne traite pas le renouvellement d'air.</i>

B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement des sols

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier et décrire les principaux paramètres des sols pulvérulents et cohérents.	Paramètres dimensionnels (poids volumiques) et paramètres d'état (indice des vides, porosité, teneur en eau, compacité, degré de saturation) des sols.	S1
Caractériser le phénomène de consolidation.	Contrainte verticale. Loi de Terzaghi. Tassements instantané et différé. Évolution de la contrainte effective et de la pression interstitielle au cours du temps.	
Identifier les hypothèses de l'état d'équilibre limite de Rankine.	Coefficients de poussée et de butée.	S2
Appliquer la loi de Coulomb et la représentation de Mohr.	Cohésion et angle de frottement interne. Critère de Mohr-Coulomb. Résistance au cisaillement. Repère et cercle de Mohr.	
Exploiter les mesures d'un essai de cisaillement.	Essai triaxial et essai de cisaillement direct (Casagrande).	

B3 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement thermique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Caractériser les transmissions de chaleur surfacique (à travers une paroi simple ou composite) et les ponts thermiques (linéiques et ponctuels).	Conduction, convection, rayonnement. Loi de Fourier. Coefficients de convection thermique, résistances superficielles. Principe d'analogie électrique.	S2
<i>Commentaire</i> <i>Les ponts thermiques sont caractérisés à partir de documents techniques ou de résultats issus d'une modélisation numérique.</i> <i>Les calculs relatifs au rayonnement ne sont pas abordés.</i>		

B4 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement mécanique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Modéliser des structures planes avec un chargement plan.	Théorie des poutres. Hypothèses de la théorie des poutres. Cadre de l'élastostaticité.	S1
<i>Commentaires</i> <i>On se limite aux structures du type poutre, portique ou treillis. On ne traite pas les arcs et les poutres courbes.</i> <i>On se limite aux structures à inertie constante.</i>		
Exploiter les mesures d'un essai de résistance.	Essais de traction uniaxiale de l'acier et de compression uniaxiale du béton.	S2
Modéliser les liaisons.	Schéma mécanique.	S1
Modéliser les actions mécaniques.	Actions permanentes/variables. Actions de liaison. Nature d'une action mécanique (ponctuelle, linéique). Action de contact / à distance. Torseur des actions mécaniques. Formule de changement de point.	
Déterminer les caractéristiques géométriques d'une section droite.	Centre de surface d'une section droite. Surface d'une section droite. Moments quadratiques. Théorème de Huygens.	
<i>Commentaire</i> <i>La recherche des directions principales pour le calcul des moments quadratiques n'est pas abordée.</i>		

B5 – Valider un modèle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Valider les paramètres du modèle de tout ou partie d'un ouvrage.	Hypothèses de modélisation. Paramètres d'un modèle. Raideur d'une structure.	S2
<i>Commentaire</i> Les études portent sur les critères de stabilité, de déformation et de résistance.		

C – Résoudre

C1 – Déterminer des contraintes et des déformations dans un milieu continu

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer des contraintes, des déformations en appliquant une loi de comportement (élasticité linéaire).	Éléments sur les contraintes et les déformations : définitions, représentations géométriques, état plan. Principe de superposition.	S1
	Notions de tenseurs de contrainte et de déformation. Directions principales, contraintes principales.	S2
<i>Commentaires</i> <i>On n'évoque pas le champ de déplacement.</i> <i>Les directions principales ne sont abordées qu'en 2D.</i> <i>Le principe de superposition est exploité à bon escient pour les études dans le domaine élastique (mécanique des structures et mécanique des sols).</i>		

C2 – Déterminer la répartition des contraintes dans le sol

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Calculer les contraintes verticales (totales et effectives).	Loi de Terzaghi. Distribution de contraintes verticales dues au poids propre et surcharges éventuelles (théorie de Boussinesq).	S1
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à des surcharges réparties en utilisant des abaques.</i>		
Proposer une démarche permettant de déterminer le diagramme de pressions des terres le long d'une paroi verticale (poussée et butée).	Poussée des terres au repos. Coefficients de butée et de poussée. Distribution de contraintes verticales et horizontales.	S2
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à la théorie de Rankine.</i>		
Déterminer le diagramme de pressions des terres le long d'une paroi verticale (poussée et butée) et exprimer des efforts.	Notion de résultante.	S2

C3 – Déterminer le tassement et la stabilité des ouvrages géotechniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Évaluer le tassement du sol.	Tassement de consolidation et son évolution au cours du temps.	S1
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à l'utilisation de l'abaque de degré de consolidation et la courbe de compressibilité œdométrique.</i>		
Vérifier la stabilité d'un ouvrage (paroi verticale, soutènement, fondations superficielles).	Capacité portante d'une fondation. Efforts moteurs et stabilisateurs. Stabilité des murs poids et des murs rideaux (au glissement, au poinçonnement et au renversement).	S2
<i>Commentaires</i> <i>Les fondations profondes ne sont pas abordées.</i> <i>La détermination de la capacité portante du sol n'est pas attendue.</i>		

C4 – Déterminer les performances liées au confort hygrothermique et acoustique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer les apports et les déperditions thermiques d'un logement simple à l'équilibre. Calculer une puissance de chauffage à l'équilibre.	Flux thermique. Conductivité et résistance thermique. Coefficient de transmission thermique. Bilan thermique d'un logement simple.	S2
<i>Commentaire</i> <i>On ne prend pas en compte le renouvellement d'air.</i>		

Déterminer les risques de condensation.	Flux de vapeur d'eau. Pression de vapeur saturante. Diagramme de l'air humide. Condensation superficielle. Condensation interne dans une paroi. Rôle du pare-vapeur.	S2
Déterminer la propagation sonore en champ direct et champ réverbéré.	Niveau de puissance acoustique et d'intensité acoustique (pondération A). Différents types de bruits normalisés (rose et routier). Coefficient de directivité.	
Déterminer le temps de réverbération d'un local.	Formule de Sabine. Coefficients d'absorption acoustique. Correction acoustique. Constante du local.	
<i>Commentaire</i> <i>On ne traite pas l'isolement acoustique.</i>		

C5 – Déterminer le comportement mécanique des structures

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Dresser un bilan des actions.	Descente de charges. Surface d'influence.	S1
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à des cas simples.</i>		
Déterminer le degré d'hyperstaticité.	Degré d'hyperstaticité.	S1
Déterminer l'équilibre de tout ou partie d'une structure isostatique.	Principe des actions mutuelles. Principe fondamental de la statique.	
Déterminer la répartition des efforts internes et établir les diagrammes correspondants (N, V, M).	Méthode des coupures. État de sollicitation de tout ou partie d'une structure (traction/compression uniaxiale, flexion pure/simple/composée).	
<i>Commentaires</i> <i>Les flexions déviée et composée déviée ne sont pas abordées.</i> <i>La torsion n'est pas abordée.</i> <i>La notion de noyau central en flexion composée n'est pas abordée.</i>		
Calculer des rotations et déplacements.	Équation différentielle de la déformée. Théorème de Castigliano.	S2
<i>Commentaire</i> <i>L'équation différentielle de la déformée est appliquée sur des cas isostatiques uniquement.</i>		
Calculer les inconnues hyperstatiques.	Théorème des trois moments. Méthode des forces (condition cinématique, théorème de Ménabréa).	S2
<i>Commentaire</i> <i>On se limite à l'étude de poutre ou de portique avec deux inconnues hyperstatiques maximum. La résolution est faite à l'aide des intégrales de Mohr.</i>		
Calculer les contraintes normales dans une section droite.	Notion de contrainte. Axe neutre.	S1
<i>Commentaire</i> <i>Les contraintes de cisaillement ne sont pas abordées dans les poutres fléchies.</i>		
Évaluer le risque d'instabilité au flambement d'un élément élancé en compression.	Élancement, élancement réduit, longueurs de flambement. Théorie de flambement d'Euler.	S2

C6 – Mobiliser des outils numériques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer les contraintes, déformations et déplacements dans une structure à l'aide d'un logiciel de calcul de structure.	Logiciel de calcul de structure.	S2
Valider des calculs thermiques à partir de simulations numériques (en 2D ou 3D).	Logiciel de simulation.	
Résoudre numériquement une équation ou un système d'équations.  I.		
<i>Commentaire</i> <i>La résolution numérique d'équations peut mobiliser les connaissances vues dans le programme d'informatique.</i>		

D – Expérimenter

D1 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mettre en œuvre un dispositif d'essais en suivant un protocole dans le respect des règles de sécurité.	Normes de sécurité.	S1
<i>Commentaire</i> Le connaissance des normes de sécurité n'est pas exigée.		
Identifier les principales grandeurs mesurées.		S1
Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.	Caractéristiques (calibre, position, précision, résolution) et fonctions d'un appareil de mesure.	

E – Concevoir

E1 – Proposer et choisir des solutions techniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Dimensionner la géométrie d'un ouvrage selon des critères.	Critères de déplacement (flèche) et de résistance.	S2
Proposer des modifications du modèle pour satisfaire des critères.	Notion de valeur caractéristique. Coefficient de sécurité.	

Choisir un matériau selon des critères environnementaux.	Analyse de cycle de vie, impact environnemental et durabilité, recyclabilité.	
Proposer des solutions technologiques en vue de satisfaire les performances thermique, hygrothermique et/ou acoustique d'un bâtiment.		

F – Communiquer

F1 – Traiter des informations

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Rechercher des informations.	Outils de recherche. Mots-clefs. Plans, notices techniques, cahier des charges.	S2
Vérifier la pertinence des informations (obtention, véracité, fiabilité et précision de l'information).		
Extraire les informations utiles d'un dossier technique.		
Interpréter des informations.		
<i>Commentaires</i> <i>Les informations sont à rechercher dans des plans, des extraits de notices techniques ou d'un cahier des charges.</i> <i>Les outils d'intelligence artificielle peuvent être utilement mobilisés pour extraire les informations, cela doit également être l'occasion de sensibiliser les étudiants au nécessaire esprit critique quant aux résultats produits par un outil d'intelligence artificielle.</i>		

F2 – Échanger de l'information

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un outil de communication adapté au contexte.	Outils de communication. Vocabulaire technique.	S2
Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.		